

Federal Republic of  
Germany

Patent  
DE 199 34 215 C 1

Int. Cl.?  
H 03 C 1/52  
H 03 D 7/00  
H 04 L 27/36

File Number: 199 34 215.6-35  
Application date: 21 July 1999  
Laid Open:  
Date of Announcement  
of Patent Grant 29 March 2001

German Patent and  
Trademark Office

Opposition can be raised within 3 months after announcement of patent grant

Patent holder:  
Rhode & Schwarz GmbH & Co. KG 81671  
München, DE

Inventor:  
Erhardt, Thomas, 81667 München, DE

Representative:  
Mitscherlich & Partner, Patent Attorneys and  
Attorneys at Law,  
80331 München

Publications taken into consideration when judging  
patentability:

DE	44 20 376 C2
DE	34 15 152 A1
US	58 47 619 A
US	47 17 894 A
US	58 61 781
US	48 90 301
US	48 16 783

Quadrature mixer with adaptive error compensation

In a quadrature mixer with which the quadrature components of a ZF input signal are converted by mixing with two superposition frequencies, in quadrature relative to one another, of a local superposition oscillator into an output signal, the output signal is converted by means of an analog IQ demodulator to the intermediate frequency of the input signal and subsequently, from the quadrature components recovered in this way, in the intermediate frequency position a) the I and Q offset error is determined, b) by means of intermediate frequency band filter and succeeding rectifier the imbalance error is determined, and c) by multiplication of these b) obtained signals, the quadrature error is determined; from these offset, imbalance and quadrature error values determined in this way, lastly, correction values are determined in a regulator, with which the quadrature components of the intermediate frequency input signal are continuously (adaptatively) corrected in error-compensating manner without the useful signal being impaired.

*RGAV A A PF020109*  
CITED BY APPLICANT

## Specification

The invention relates to a quadrature mixer according to the preamble of the independent claim.

Quadrature mixers are increasingly more frequently applied in high-frequency transmission technology. Through the principle of quadrature mixing a side band is completely suppressed in ideally operating mixers. However, due to the so-called offset, imbalance and quadrature errors, in practice, a quadrature mixer does not operate ideally and the suppression of a side band as well as of the residual carrier is not optimal, such that these signals appear as disturbance signals at the output of the mixer. While it is known to calibrate such quadrature mixers before use by means of level detectors or spectrum analyzer (US 47 17 894 or US 5 847 619), regulating out these errors without interruption or impairment of the output signal is not possible with these known methods.

The invention addresses the problem of providing a quadrature mixer with which without impairment of the useful signal the disturbing offset, imbalance and quadrature errors can be continuously (adaptively) compensated.

Starting from a quadrature mixer according to the preamble of the independent claim, this problem is solved through its characterizing characteristics. Advantageous further developments are evident in the dependent claims.

Without impairing the useful signal the offset, in a quadrature mixer according to the invention imbalance and quadrature errors are continuously determined in a very simple manner by an analog IQ demodulator, which supplies the detected errors with their correct signs to a regulator, in which subsequently the corresponding correction values for the compensation of the quadrature components I and Q of the modulated ZF input signal are generated.

$$I(t) = IM(t) \cdot \cos(\omega_{ZF} \cdot t) + QM(t) \cdot \sin(\omega_{ZF} \cdot t)$$

110424 1000 03 10

$$Q(t) = IM(t) \cdot \sin(\omega_{ZF} \cdot t) + QM(t) \cdot \cos(\omega_{ZF} \cdot t)$$

According to the invention thus said errors are automatically regulated out, i.e. an adaptive error compensation takes place. The principle according to the invention can be applied with analog ZF input signals as well as also with digital ZF input signals, which, for example, are generated by means of a digital IQ modulator. In the latter case it is advantageous to convert directly at the output of the IQ demodulator the error values generated there into the corresponding digital values, such that the regulator can also be developed as a pure arithmetic unit for processing the error values and for generating the correction values.

In the following the invention will be explained in further detail in conjunction with schematic drawings with reference to embodiment examples.

Figure 1 depicts the basic circuit diagram of a quadrature mixer 1, which is comprised of two mixers 2 and 3, to which is supplied at the input side the quadrature components I and Q as modulated ZF input signals from an IQ modulator 4, to which, in turn the base band signals IM and QM are supplied as modulation signals. A local superposition oscillator 5 generates a carrier frequency  $f_{LO}$ ; by means of a  $90^\circ$  phase shifter 6 two superposition frequencies in quadrature with respect to one another are generated, which are supplied to mixers 2 and 3. The output signals formed in this way are added in an adder 7 to form an output signal A.

In the quadrature mixer 1 the ZF input signals I and Q are converted into the frequency  $f_{RF} = f_{LO} + f_{ZF}$  of the useful signal NS. Due to offset, imbalance and quadrature errors, the quadrature mixer 1 does not operate ideally and the lower side band SB is not completely suppressed at the frequency  $f_{LO} - f_{ZF}$ , a residual carrier TR also remains at the frequency  $f_{LO}$  and these signals SB and TR appear in the output signal A as disturbance components, as is shown in Figure 2a.

According to the invention the output signal A is supplied to an IQ demodulator 10, in which it is again converted back across two mixers 11 and 12 through two superposition frequencies  $f_{LO}$ , in quadrature with respect to one another, of the superposition oscillator S

into the IQ components  $I'$  and  $Q'$  with the same intermediate frequency  $ZF$  with which the input signal is also supplied to the quadrature mixer 1. These reconverted quadrature components  $I'$  and  $Q'$  at the output of the IQ demodulator are supplied once via lowpass filters 13 and 14 directly to a regulator 15; they consequently correspond to the  $I$  or  $Q$  offset. Via lowpass filters 16 and 17, which are tuned to the intermediate frequency  $f_{ZF}$ , the  $I$  and  $Q$  signals are filtered out and via peak value rectifiers 18 and 19 also supplied to the regulator 15 for determining the imbalance error. In addition, the filtered  $I$  and  $Q$  signal is supplied to a mixer 20 and in this way the quadrature error is determined, which is supplied across a further lowpass filter 21 to regulator 15. In the regulator 15 the error values determined thus of the quadrature mixer 1 are evaluated and converted into correction values, through which the  $I$  and  $Q$  components are corrected such that the offset, imbalance and quadrature errors of the quadrature mixer 1 are compensated and regulated out. Via the mixers 22, 23 the imbalance error is corrected, via the adder 24, 25 the offset error, and, through the effect onto the  $90^\circ$  phase shifter 6, the quadrature error.

The direct conversion depicted in Figure 1 in the basic circuit diagram of the output signal  $A$ , which most often can be varied in frequency, in the IQ demodulator and the subsequent evaluation of the quadrature components  $I'$  and  $Q'$  would in practice be difficult with varying frequency. It is therefore useful to convert the output frequency  $A$ , variable with the superposition frequency  $f_{LO}$ , into a fixed intermediate frequency by interconnecting an additional mixer. For that purpose an additional superposition oscillator following along with the superposition oscillator 5 is required, to which a frequency can be tuned which is synchronous with the frequency  $f_{LO}$ , however relative to it, offset by a predetermined constant intermediate frequency.

Figure 3 shows an embodiment example reduced to practice of a quadrature mixer according to the invention. The input signals supplied as digital signals in the base band are converted in a digital IQ modulator 4 with the aid of a frequency synthesizer DDS into the quadrature components  $I$  and  $Q$  to the intermediate frequency  $f_{ZF}$ . After passing through mixers 22, 23 and adders 24, 25 the digital signals are again converted into analog signal by

means of digital-to-analog converters 32 and 33 and supplied as input signals to the quadrature mixer 1 and there converted with the adjustable superposition frequency  $f_{LO}$  of the superposition oscillator 5 into the useful signal at the frequency  $f_{RF} = f_{LO} + f_{ZF}$  at the output A. The output signal is supplied to an additional mixer 30, in which the output signal is converted with an unmodulated superposition frequency  $f_{CW} = f_{LO}$  {illegible}  $f_{IF}$  however following along with the superposition frequency  $f_{LO}$ , to a fixed intermediate frequency  $f_{IF} + f_{ZF}$ . The superposition frequency  $f_{CW}$  is generated in the superposition oscillator 31. With the superposition oscillator 34 the fixed superposition frequency  $f_{IF}$  for the IQ demodulator 10 is generated. Via lowpass filters 13 and 14 from these ZF signals the offset signals are filtered out and supplied to regulator 15 across the analog-to-digital converters 36, 37. Via the bandpasses 16, 17 the I and Q signal is filtered out and across peak value rectifiers 18, 19 and the analog-to-digital converters 38, 39 also supplied as imbalance errors to regulator 15. After filtering in a lowpass filter 21 and digitization in the analog-to-digital converter 40, with a mixer 20 the I and Q signals are supplied as quadrature error to regulator 15. Figures 2c and 2d show the operational mechanism of this error signal processing by the band passes 16, 17 and the lowpass filter 21.

In order to consider in the regulation the inherent errors of the IQ demodulator 10, in a preceding calibration process these inherent errors can also be determined and stored in regulator 15 and in the subsequent regulation be taken into account accordingly without impairing the useful signal NS. For this purpose, in front of the IQ demodulator 10 a highpass filter 41 alternatively interconnectable is provided, which can be connected via a switch 42 alternatively preceding the IQ demodulator 10. In front of this highpass filter 41 additionally a further lowpass filter 43 is provided. According to Figure 2b with the lowpass filter 43 at the output of mixer 30 the upper mixed product is filtered out, the lower mixed product is supplied to the IQ demodulator 10 alternatively directly or across the highpass filter 41. With the highpass filter 41 switched on, according to Figure 2b the lower side band SB and the residual carrier TR is filtered out, such that at the demodulator output only the error signals are present, which the IQ demodulator 10 itself produces through its analog

technology (offset voltages, phase errors, unequal damping and the like). These errors are stored as a rule in regulator 15 and in the subsequent regulation proper (with the highpass filter 41 switched off) taken into consideration accordingly. In an alternative calibration process for the IQ demodulator via switch 44 the sinusoidal signal of an oscillator 46 with frequency  $f_{IP} + f_{ZF}$  is supplied. This is the center frequency of the useful signal at the input of the IQ demodulator. In the embodiment example according to Figure 3 in the regulator 15 digital correction values are generated from the digitally supplied error signals directly, in this example thus the correction proper takes place directly digitally, only for the generation of the quadrature error signal a reconversion into an analog signal by means of a digital-to-analog converter 44 is required.

In order for the useful signal  $f_{RF}$  not to be impaired during the calibration process, the regulator 15 must store the compensation signals for the quadrature modulator before the calibration and keep them constant during the calibration.

### Patent Claims

1. Quadrature mixer with which the quadrature components (I, Q) of a ZF input signal are converted into an output signal (A) by mixing with two superposition frequencies in quadrature with respect to one another of a local superposition oscillator (5), characterized in that the output signal (A) is converted by means of an analog IQ demodulator (10) to the intermediate frequency of the input signal and from the quadrature components (I, Q) in the intermediate frequency position recovered in this way
  - a) the I and Q offset error is determined,
  - b) by means of intermediate frequency band filters and succeeding rectifiers the I and Q imbalance errors are determined, and
  - c) by multiplication of these signals obtained under b) the quadrature error is determined, and from these offset, imbalance and quadrature error values, determined in this way in a regulator (15) correction values are determined with which the quadrature components of the intermediate frequency input signal are continuously corrected in error-compensating manner without the useful signal (NS) being impaired at the output (A).
2. Quadrature mixer as claimed in claim 1, characterized in that before the IQ demodulator (10) a highpass filter (41) is provided which alternatively can be switched on and off, and the inherent errors of the IQ demodulator determined with the highpass filter switched on, are stored in the regulator (15) and are considered accordingly in the error compensation of the intermediate frequency input signals without impairing the useful signal (NS).

3. Quadrature mixer as claimed in claim 1 or 2, characterized in that the output signal (A) is converted before the IQ demodulator (10) to a constant intermediate frequency ( $f_{IF} + f_{ZF}$ ) (superposition mixer 30).
4. Quadrature mixture as claimed in one of the preceding claims, characterized in that the intermediate frequency input signal is supplied as a digital signal and the analog error values determined in the analog IQ demodulator are digitized before the regulator (15).
5. Quadrature mixer as claimed in one of the preceding claims, characterized in that before the IQ demodulator (10) an oscillator (46) is provided, which can alternatively be switched on and off, and the inherent errors of the IQ demodulator, determined with the oscillator switched on, are stored in the regulator (15) and during the error compensation of the intermediate frequency input signals are taken into consideration accordingly without impairing the useful signal (NS).

---

3 sheets of drawings enclosed

---



⑯ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑯ **Patentschrift**  
⑯ **DE 199 34 215 C 1**

⑯ Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**H 03 C 1/52**  
H 03 D 7/00  
H 04 L 27/36

⑯ Aktenzeichen: 199 34 215.6-35  
⑯ Anmeldetag: 21. 7. 1999  
⑯ Offenlegungstag: -  
⑯ Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 29. 3. 2001

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑯ Patentinhaber:  
Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG, 81671  
München, DE

⑯ Vertreter:  
Mitscherlich & Partner, Patent- und Rechtsanwälte,  
80331 München

⑯ Erfinder:  
Erhardt, Thomas, 81667 München, DE

⑯ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:  
DE 44 20 376 C2  
DE 34 15 152 A1  
US 58 47 619 A  
US 47 17 894 A  
US 58 61 781  
US 48 90 301  
US 48 16 783

⑯ Quadraturmischer mit adaptiver Fehlerkompensation

⑯ Bei einem Quadraturmischer, mit dem die Quadraturkomponenten eines ZF-Eingangssignals durch Mischen mit zwei in Quadratur zueinander stehenden Überlagerungsfrequenzen eines lokalen Überlagerungssenders in ein Ausgangssignal umgesetzt werden, wird das Ausgangssignal mittels eines analogen IQ-Demodulators auf die Zwischenfrequenz des Eingangssignals umgesetzt und aus den so rückgewonnenen Quadraturkomponenten wird dann in der Zwischenfrequenzlage a) der I und Q-Offset-Fehler bestimmt, b) mittels Zwischenfrequenz-Bandfilter und nachfolgender Gleichrichter der Imbalance-Fehler bestimmt, und c) durch Multiplikation dieser unter b) gewonnenen Signale der Quadraturfehler bestimmt; aus diesen so ermittelten Offset-, Imbalance- und Quadraturfehlerwerten werden schließlich in einem Regler Korrekturwerte ermittelt, mit denen die Quadraturkomponenten des Zwischenfrequenz-Eingangssignals in fehlerkompensierender Weise fortlaufend (adaptiv) korrigiert werden, ohne daß das Nutzsignal beeinträchtigt wird.

*REC A A PF020109*  
CITED BY APPLICANT

DE 199 34 215 C 1



DE 199 34 215 C 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft einen Quadraturmischer laut Oberbegriff des Hauptanspruches.

Quadraturmischer finden immer mehr Anwendung in der Hochfrequenz-Übertragungstechnik. Durch das Prinzip der Quadraturmischung wird bei ideal arbeitenden Mischern ein Seitenband vollständig unterdrückt. Aufgrund von sogenannten Offset-, Imbalance- und Quadraturfehlern arbeitet in der Praxis ein Quadraturmischer jedoch nicht ideal und die Unterdrückung eines Seitenbandes sowie des Trägerrestes ist nicht optimal, so daß diese Signale als Störsignale am Ausgang des Mischers erscheinen. Es ist zwar bekannt, solche Quadraturmischer mittels Pegeldetektor oder Spektrum-Analysator (US-Patent 47 17 894 bzw. US-Patent 5 847 619) vor Benutzung zu kalibrieren, eine Ausregelung dieser Fehler ohne Unterbrechung bzw. Beeinträchtigung des Ausgangssignals ist mit diesen bekannten Verfahren jedoch nicht möglich.

Es ist Aufgabe der Erfindung, einen Quadraturmischer zu schaffen, mit dem ohne Beeinträchtigung des Nutzsignals die störenden Offset-, Imbalance- und Quadraturfehler fortlaufend (adaptiv) kompensiert werden können.

Diese Aufgabe wird ausgchend von einem Quadraturmischer laut Oberbegriff des Hauptanspruches durch dessen kennzeichnende Merkmale gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen ergeben sich aus den Unteransprüchen.

Bei einem erfindungsgemäßen Quadraturmischer werden laufend ohne Beeinträchtigung des Nutzsignals die Offset-, Imbalance- und Quadraturfehler ermittelt und zwar auf sehr einfache Weise durch einen analogen IQ-Demodulator, der die festgestellten Fehler vorzehcnrichtig einem Regler zuführt, in welchem dann die entsprechenden Korrekturwerte für die Kompensation der Quadraturkomponenten I und Q des modulierten ZF-Eingangssignals erzeugt werden.

$$I(t) = IM(t) \cdot \cos(\omega_{ZF} \cdot t) - QM(t) \cdot \sin(\omega_{ZF} \cdot t)$$

$$Q(t) = IM(t) \cdot \sin(\omega_{ZF} \cdot t) + QM(t) \cdot \cos(\omega_{ZF} \cdot t)$$

Gemäß der Erfindung findet also eine automatische Ausregelung der erwähnten Fehler, d. h. eine adaptive Fehlerkompensation statt. Das erfindungsgemäße Prinzip kann sowohl bei analogen ZF-Eingangssignalen als auch bei digitalen ZF-Eingangssignalen, die beispielsweise mittels eines digitalen IQ-Modulators erzeugt werden, angewendet werden, im letzteren Fall ist es vorteilhaft, unmittelbar am Ausgang des IQ-Demodulators die dort erzeugten Fehlerwerte in entsprechende Digitalwerte umzusetzen, so daß auch der Regler als reiner Rechner zur Verarbeitung der Fehlerwerte und zur Erzeugung der Korrekturwerte ausgebildet sein kann.

Die Erfindung wird im Folgenden anhand schematischer Zeichnungen an Ausführungsbeispielen näher erläutert.

Fig. 1 zeigt das Prinzipschaltbild eines Quadraturmischers 1, der aus zwei Mischern 2 und 3 besteht, denen einangsseitig die Quadraturkomponenten I und Q als moduliertes ZF-Eingangssignal aus einem IQ-Modulator 4 zugeführt werden, dem seinerseits die Basisbandsignale IM und QM als Modulationssignale zugeführt werden. Ein lokaler Überlagerungsszillator 5 erzeugt eine Trägerfrequenz  $f_{LO}$ , mittels eines 90° Phasenschiebers 6 werden zwei in Quadratur zueinander stehende Überlagerungsfrequenzen erzeugt, die den Mischern 2 und 3 zugeführt werden. Die so entstehenden Ausgangssignale werden in einem Addierer 7 zum Ausgangssignal A addiert.

Im Quadraturmischer 1 werden die ZF-Eingangssignale I und Q in die Frequenz  $f_{RF} = f_{LO} + f_{ZF}$  des Nutzsignals NS umgesetzt. Aufgrund von Offset-, Imbalance- und Quadra-

turfehler arbeitet der Quadraturmischer 1 nicht ideal und das untere Seitenband SB bei der Frequenz  $f_{LO} - f_{ZF}$  wird nicht vollständig unterdrückt, es bleibt auch ein Trägerrest TR bei der Frequenz  $f_{LO}$  und diese Signale SB und TR erscheinen im Ausgangssignal A als Störkomponenten, wie dies Fig. 2a zeigt.

Gemäß der Erfindung wird das Ausgangssignal A einem IQ-Demodulator 10 zugeführt, in welchem es über zwei Mischer 11 und 12 wiederum durch zwei in Quadratur zueinander stehende Überlagerungsfrequenzen  $f_{LO}$  des Überlagerungsszillators 5 in die IQ-Komponenten I' und Q' mit der gleichen Zwischenfrequenz ZF rückumgesetzt werden, mit der auch das Eingangssignal dem Quadraturmischer 1 zugeführt wird. Diese so rückumgesetzten Quadraturkomponenten I' und Q' am Ausgang des IQ-Demodulators werden einmal über Tiefpässe 13 und 14 unmittelbar einem Regler 15 zugeführt, sie entsprechen damit dem I- bzw. Q-Offset. Über Bandpässe 16 und 17, die auf die Zwischenfrequenz  $f_{ZF}$  abgestimmt sind, wird das I- und Q-Signal ausgefiltert und über Spitzenwertgleichrichter 18 und 19 ebenfalls dem Regler 15 zur Bestimmung des Imbalancefehlers zugeführt. Außerdem wird das gefilterte I- und Q-Signal einem Mischer 20 zugeführt und so der Quadraturfehler ermittelt, der über einen weiteren Tiefpaß 21 dem Regler 15 zugeführt wird. Im Regler 15 werden die so ermittelten Fehlerwerte des Quadraturmischers 1 ausgewertet und in Korrekturwerte umgerechnet, durch die die I und Q-Komponenten so korrigiert werden, daß die Offset-, Imbalance- und Quadraturfehler des Quadraturmischers 1 kompensiert und ausgeregelt werden. Über die Mischer 22, 23 wird der Imbalance-Fehler korrigiert, über die Addierer 24, 25 der Offsetfehler und durch Einwirkung auf den 90° Phasenschieber 6 der Quadraturfehler.

Die in Fig. 1 im Prinzipschaltbild dargestellte unmittelbare Umsetzung des meist in der Frequenz veränderlichen Ausgangssignals A im IQ-Demodulator und die anschließende Auswertung der Quadraturkomponenten I' und Q' bei sich ändernder Frequenz wäre in der Praxis schwierig. Es ist daher zweckmäßig, die mit der Überlagerungsfrequenz  $f_{LO}$  veränderbare Ausgangsfrequenz A durch Zwischenschalten eines zusätzlichen Mischers in eine feste Zwischenfrequenz umzusetzen. Dazu ist ein mit dem Überlagerungsszillator 5 mitlaufender zusätzlicher Überlagerungsszillator erforderlich, der eine synchron mit der Frequenz  $f_{LO}$  jedoch gegenüber dieser um eine vorbestimmte konstante Zwischenfrequenz versetzte Frequenz abstimmbare ist.

Fig. 3 zeigt ein praktisches Ausführungsbeispiel für einen erfindungsgemäßen Quadraturmischer. Die im Basisband als Digitalsignale zugeführten Eingangssignale werden in einem digitalen IQ-Modulator 4 mit Hilfe eines Frequenzsynthesizers DDS in die Quadraturkomponenten I und Q auf die Zwischenfrequenz  $f_{ZF}$  umgesetzt. Nach Durchlaufen der Mischern 22, 23 und Addierer 24, 25 werden die Digitalsignale mittels Digital-Analog-Wandler 32 und 33 wieder in Analogsignale umgesetzt und als Eingangssignale dem Quadraturmischer 1 zugeführt und dort mit der einstellbaren Überlagerungsfrequenz  $f_{LO}$  des Überlagerungsszillators 5 in das Nutzsignal bei der Frequenz  $f_{RF} = f_{LO} + f_{ZF}$  am Ausgang A umgesetzt. Das Ausgangssignal wird einem zusätzlichen Mischer 30 zugeführt, in welchem das Ausgangssignal mit einer unmodulierten, jedoch mit der Überlagerungsfrequenz  $f_{LO}$  mitlaufenden Überlagerungsfrequenz  $f_{CW} = f_{LO} - f_{IF}$  auf eine feste Zwischenfrequenz  $f_{IF} + f_{ZF}$  umgesetzt wird. Die Überlagerungsfrequenz  $f_{CW}$  wird in dem Überlagerungsszillator 31 erzeugt. Mit dem Überlagerungsszillator 34 wird die feste Überlagerungsfrequenz  $f_{IF}$  für den IQ-Demodulator 10 erzeugt. Über Tiefpässe 13 und 14 werden aus diesen ZF-Signalen die Offsetsignale ausge-



filtert und über Analog-Digital-Wandler 36, 37 dem Regler 15 zugeführt. Über die Bandpässe 16, 17 wird das I- und Q-Signal ausgefiltert und über Spitzenwertgleichrichter 18, 19 und Analog-Digital-Wandler 38, 39 als Imbalancefehler ebenfalls dem Regler 15 zugeführt. Mit einem Mischer 20 werden die I- und Q-Signale nach Filterung in einem Tiefpaß 21 und Digitalisierung im Analog-Digital-Wandler 40 als Quadraturfehler dem Regler 15 zugeführt. Die Fig. 2c und 2d zeigen die Wirkungsweise dieser Fehlersignal-Aufbereitung durch die Bandpässe 16, 17 und den Tiefpaß 21. 10

Um bei der Regelung auch die Eigenfehler des IQ-Demodulators 10 zu berücksichtigen, können in einem vorhergehenden Kalibrierverfahren auch diese Eigenfehler bestimmt und im Regler 15 abgespeichert und bei der späteren Regelung entsprechend berücksichtigt werden, ohne das Nutzsignal NS zu beeinträchtigen. Dazu ist vor dem IQ-Demodulator 10 ein wahlweise einschaltbarer Hochpaß 41 vorgesehen, der über einen Schalter 42 wahlweise dem IQ-Demodulator 10 vorschaltbar ist. Vor diesem Hochpaß 41 ist noch ein weiterer Tiefpaß 43 vorgesehen. Gemäß Fig. 2b wird mit dem Tiefpaß 43 am Ausgang des Mixers 30 das obere Mischprodukt weggefiltert, das untere Mischprodukt wird dem IQ-Demodulator 10 wahlweise direkt oder über den Hochpaß 41 zugeführt. Bei eingeschaltetem Hochpaß 41 wird gemäß Fig. 2b das untere Seitenband SB und der Trägerrest TR weggefiltert, so daß am Demodulatorausgang nur die Fehlersignale erscheinen, die der IQ-Demodulator 10 durch seine Analogtechnik selbst produziert (Offsetspannungen, Phasenfehler, ungleiche Dämpfung und dergleichen). Diese Fehler werden im Regler 15 abgespeichert und bei der anschließenden eigentlichen Regelung (bei ausgeschaltetem Hochpaß 41) entsprechend berücksichtigt. Bei einem alternativen Kalibrierverfahren für den IQ-Demodulator wird über den Schalter 44 das Sinussignal eines Oszillators 46 mit der Frequenz  $f_{IF} + f_{ZF}$  zugeführt. Dies ist die Mittenfrequenz des Nutzsignals am Eingang des IQ-Demodulators. In dem gezeigten Ausführungsbeispiel nach Fig. 3 werden im Regler 15 aus den digital angelieferten Fehlersignalen unmittelbar digitale Korrekturwerte erzeugt, in diesem Beispiel erfolgt die eigentliche Korrektur also unmittelbar digital, lediglich für die Erzeugung des Quadraturfehlersignals ist eine Rückumwandlung in ein Analogsignal mittels eines Digital-Analog-Wandlers 44 erforderlich. 40

Damit das Nutzsignal  $f_{RF}$  während des Kalibrierorganges nicht beeinträchtigt wird, muß der Regler 15 die Kompen-sationssignale für den Quadraturmodulator vor der Kalibration abspeichern und während der Kalibration konstant halten. 45

## Patentansprüche

50

1. Quadraturmischer, mit dem die Quadraturkomponenten (I, Q) eines ZF-Eingangssignals durch Mischen mit zwei in Quadratur zueinander stehenden Überlagerungsfrequenzen eines lokalen Überlagerungsoszillators (5) in ein Ausgangssignal (A) umgesetzt werden, dadurch gekennzeichnet, daß das Ausgangssignal (A) mittels eines analogen IQ-Demodulators (10) auf die Zwischenfrequenz des Eingangssignals umgesetzt wird und aus den so rückgewonnenen Quadraturkomponenten (I, Q) in der Zwischenfrequenzlage
  - a) der I und Q-Offset-Fehler bestimmt wird,
  - b) mittels Zwischenfrequenz-Bandfilter und nachfolgender Gleichrichter die I- und Q-Imbalance-Fehler bestimmt werden, und
  - c) durch Multiplikation dieser unter b) gewonnenen Signale der Quadraturfehler bestimmt wird,

und aus diesen so ermittelten Offset-, Imbalance- und Quadraturfehlerwerten in einem Regler (15) Korrekturwerte ermittelt werden, mit denen die Quadraturkomponenten des Zwischenfrequenz-Eingangssignals in fehlerkompensierender Weise fortlaufend korrigiert werden, ohne daß das Nutzsignal (NS) am Ausgang (A) beeinträchtigt wird.

2. Quadraturmischer nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß vor dem IQ-Demodulator (10) ein wahlweise ein- und ausschaltbarer Hochpaß (41) vorgesehen ist und die bei eingeschaltetem Hochpaß bestimmten Eigenfehler des IQ-Demodulators im Regler (15) abgespeichert und bei der Fehlerkompensation der Zwischenfrequenz-Eingangssignale entsprechend berücksichtigt werden, ohne das Nutzsignal (NS) zu beeinträchtigen.

3. Quadraturmischer nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Ausgangssignal (A) vor dem IQ-Demodulator (10) auf eine konstante Zwischenfrequenz ( $f_{IF} + f_{ZF}$ ) umgesetzt wird (Überlagerungsmischer 30).

4. Quadraturmischer nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Zwischenfrequenz-Eingangssignal als Digitalsignal zugeführt wird und die im analogen IQ-Demodulator ermittelten analogen Fehlerwerte vor dem Regler (15) digitalisiert werden.

5. Quadraturmischer nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß vor dem IQ-Demodulator (10) ein wahlweise ein- und ausschaltbarer Oszillator (46) vorgesehen ist und die bei eingeschaltetem Oszillator bestimmten Eigenfehler des IQ-Demodulators im Regler (15) abgespeichert und bei der Fehlerkompensation der Zwischenfrequenz-Eingangssignale entsprechend berücksichtigt werden, ohne das Nutzsignal (NS) zu beeinträchtigen.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen



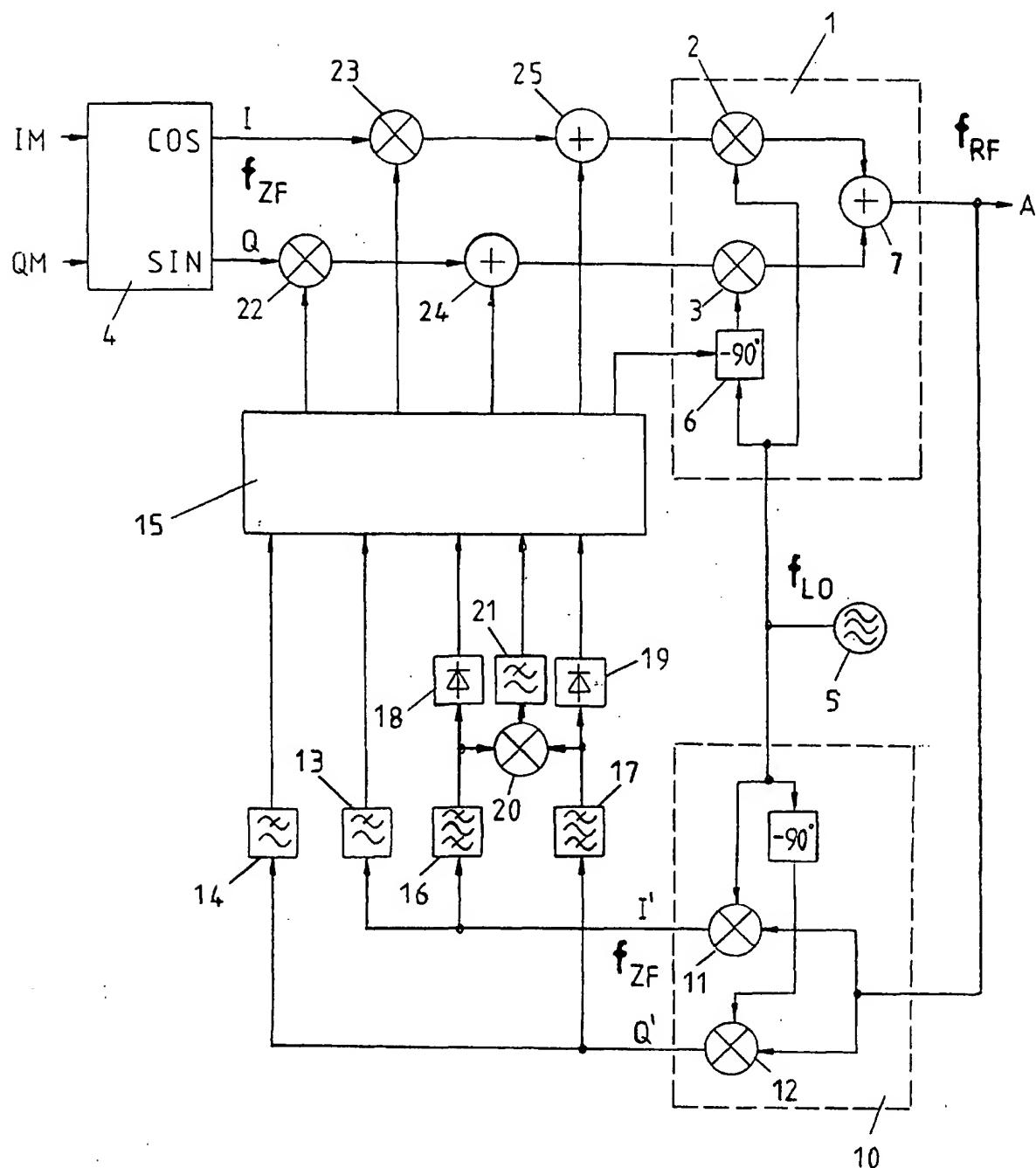


FIG 1

FIG 2a

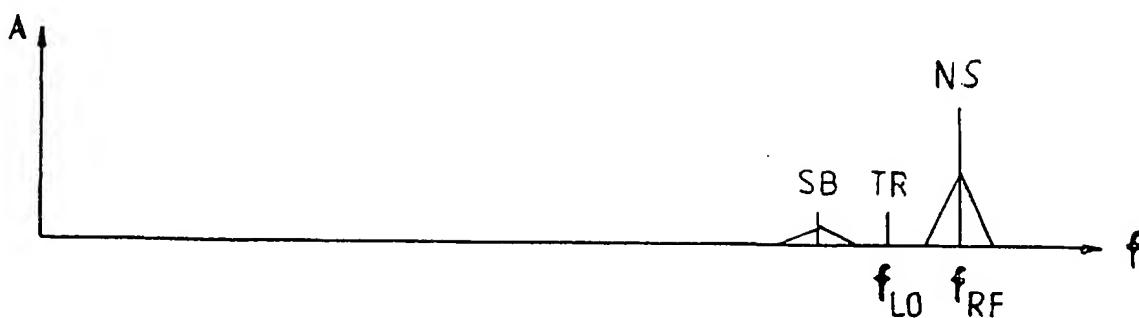


FIG 2b

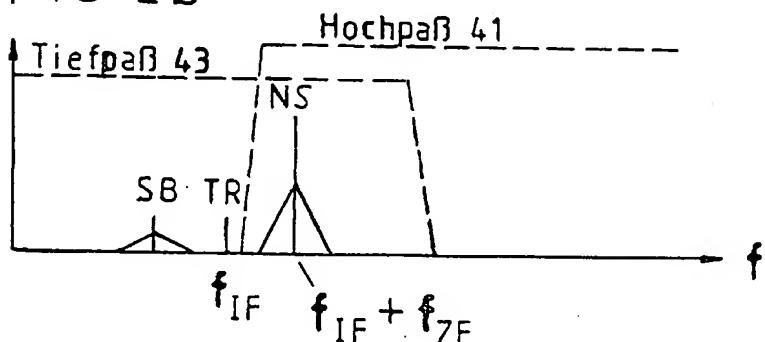


FIG 2c

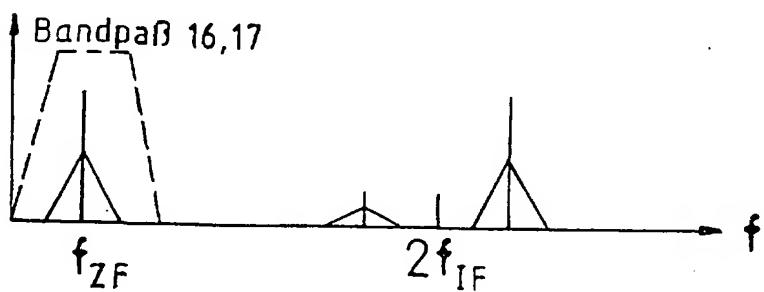
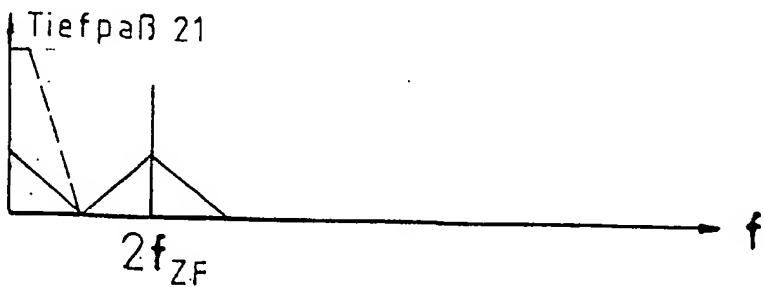
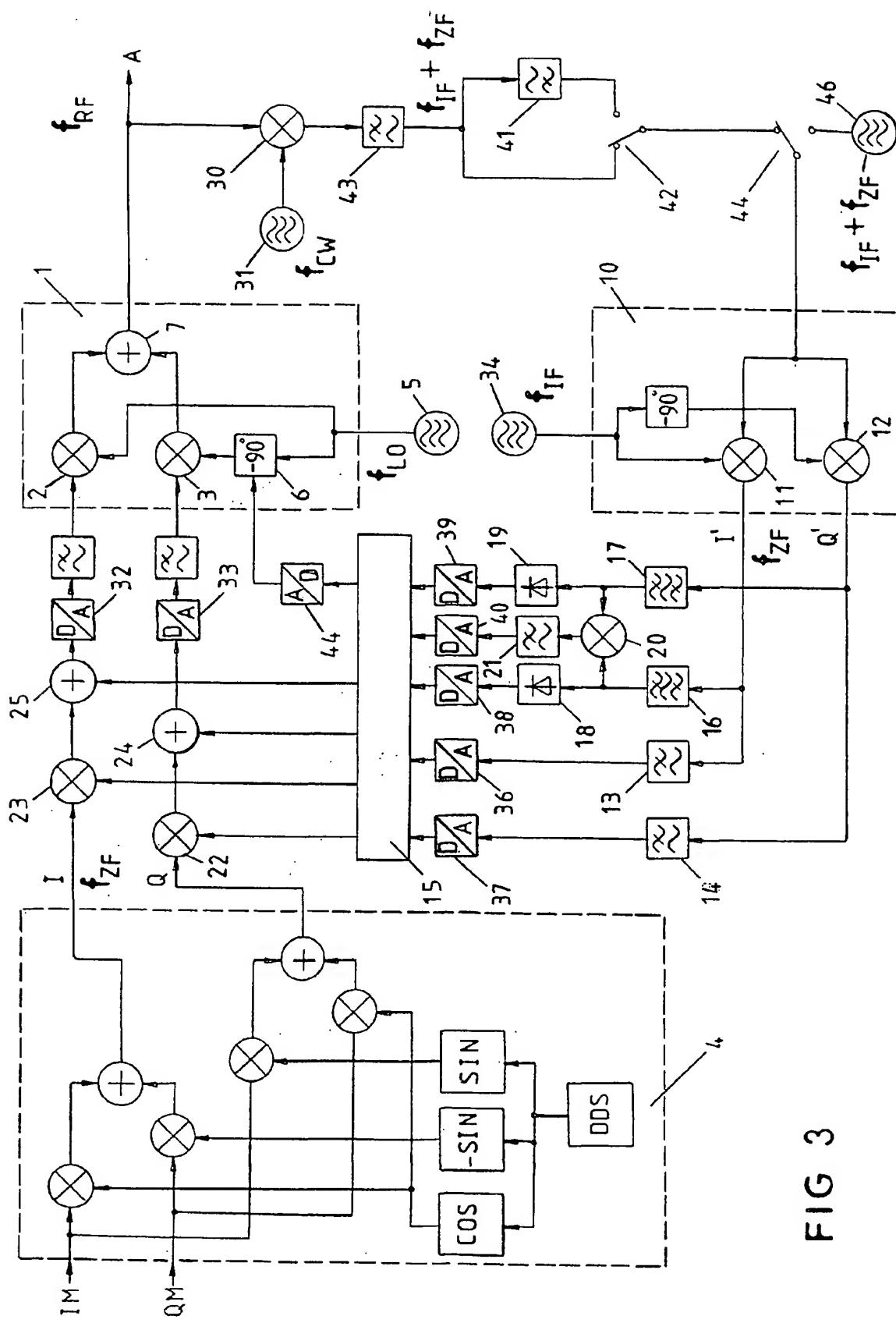


FIG 2d





三  
一  
五